

KAJIAN PENGARUH KARAKTERISTIK HUJAN TERHADAP VOLUME ALIRAN DAN BERAT SUSPENSI DI KAWASAN KARST

AN ASSESSMENT OF THE EFFECT OF RAIN CHARACTERISTICS AGAINST THE VOLUME OF WATER FLOW AND THE WEIGHT OF SUSPENSION IN KARST AREA

Marcellinus Mandira Budi Utomo*, Hatma Suryatmojo**, dan Sri Astuti Soedjoko**

*BPTHBK Mataram. Jalan Dharma Bhakti No. 7, Langko, Lingsar, Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat

**Jurusan Konservasi Sumber daya Hutan, Fakultas Kehutanan, UGM

Pos-el: mandirabudi@gmail.com

ABSTRACT

The watershed management needs data of hydrology circulation, e.g. volume of water flow and weight of suspension. Rain is a main control for hydrology circulation. Rain characteristics need to be assessed for their effect against hydrology circulation. This research was aimed to assess the effect of rain characteristics and to create an equation of volume of water flow and weight of suspension in karst area. A combination method of exploration and statistic calculation was used in this research. Parameters of volume of water flow and weight of suspension was measured at several different of water levels. The data were analyzed to assess the rain characteristics that influenced hydrology circulation. The result showed that 30 minutes maximum intensity (I 30') affected the volume of water flow and weight of suspension. The functions raised from this research were $V = 563.646 (I 30') - 644.063$ and $W = 59.660 (I 30') - 209.758$.

Keywords: Rain characteristics, Water flow, Suspension weight, Karst

ABSTRAK

Pengolahan daerah aliran sungai (DAS) memerlukan data mengenai daur hidrologi, di antaranya volume aliran dan berat suspensi. Hujan merupakan penentu daur hidrologi. Karakteristik hujan perlu dikaji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap daur hidrologi. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung pengaruh karakteristik hujan dan membuat persamaan volume aliran dan berat suspensi di daerah karst. Kombinasi antara eksplorasi dan perhitungan statistik digunakan dalam penelitian ini. Parameter volume aliran dan berat suspensi diukur pada beberapa tinggi muka air yang berbeda. Data yang diperoleh, dianalisis dan dinilai mengenai pengaruh karakteristik hujan terhadap siklus hidrologi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas hujan maksimal 30 menit (I 30') memberi pengaruh terhadap volume aliran dan berat suspensi. Persamaan yang diperoleh adalah $V = 563,646 (I 30') - 644,063$ dan $W = 59,660 (I 30') - 209,758$.

Kata kunci: Karakteristik hujan, Aliran air, Berat suspensi, Karst

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang dapat diperbarui dan sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup. Keberadaan air kadang tidak sesuai dengan kebutuhan makhluk hidup terutama manusia. Sebagai contoh, sering kali pada musim

hujan terjadi banjir dan musim kemarau terjadi kekeringan.

Pengelolaan sumber daya air dilakukan dalam lingkup suatu daerah aliran sungai (DAS). DAS merupakan wilayah daratan yang secara topografi dibatasi oleh punggung-punggungan

gunung yang menampung, menyimpan, dan mengalirkan air hujan ke saluran-saluran air.¹ Pengelolaan sumber daya air tidak terlepas dari daur hidrologi yang salah satu prosesnya adalah presipitasi dari air hujan. Setiap turun hujan, tidak semua air hujan terserap ke dalam tanah. Air yang tidak terserap berupa aliran permukaan. Aliran permukaan akan mengalir ke daerah yang lebih rendah dan menuju saluran-saluran air. Wilayah bagian hulu dan bagian hilir memiliki keterkaitan geofisik melalui daur hidrologi.

Aliran permukaan memiliki daya gerus tanah atau membawa materi tanah (sedimen) yang dalam saluran air akan dihitung sebagai suspensi. Karakteristik hujan (lama, tebal, dan intensitas hujan) pada suatu wilayah sangat memengaruhi besarnya debit aliran pada suatu DAS (baik dalam volume tubuh air maupun kecepatan alirannya) dan erosi yang terjadi pada daerah tersebut. Erosi yang tinggi akan menyebabkan muatan sedimen yang terbawa oleh aliran permukaan meningkat. Erosi akan memengaruhi besarnya debit suspensi pada daerah aliran sungai wilayah tersebut.

Kawasan karst yang memiliki ciri-ciri, seperti solum (ketebalan) tanah yang tipis dan memiliki kecepatan infiltrasi yang lambat, dimungkinkan memiliki aliran air yang cepat dan kuat dalam menarik materi tanah. Kondisi umum daerah karst adalah batuan penyusunnya didominasi oleh batuan kapur yang memiliki pori-pori mikro sehingga masih dapat meloloskan air. Hal ini yang menyebabkan daerah karst memiliki kecepatan infiltrasi yang lambat.

Pengelolaan DAS di daerah karst akan berbeda dengan daerah non-karst. Penentuan rencana pengelolaan DAS diperlukan data dari pengukuran aliran sungai yang meliputi tinggi muka air, debit aliran, dan debit suspensi. Data debit atau aliran sungai merupakan informasi yang paling penting bagi pengelolaan sumber daya air. Hujan sebagai sumber utama air yang turun ke permukaan bumi menjadi data dasar yang memengaruhi daur hidrologi yang terjadi di suatu daerah dan akan menentukan karakter hidrologi daerah tersebut.

Setiap kejadian hujan memiliki karakter masing-masing. Karakter tersebut dapat berupa lama, tebal, dan intensitas hujan. Intensitas hujan maksimal selama 30 menit atau 130' merupakan

intensitas yang akan memberikan pengaruh besar terhadap aliran permukaan. Ketiga karakter hujan di atas akan dikaitkan dengan besarnya volume aliran dan berat suspensi yang terjadi di daerah karst. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh karakteristik hujan dan membuat persamaan volume aliran dan berat suspensi yang terjadi di daerah karst.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di daerah tangkapan air (DTA) Sendang Tahunan yang terletak di Dusun Ngleri Wetan dan Ngleri Kulon, Desa Ngleri, Kecamatan Playen, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi D.I. Yogyakarta. Secara geografis terletak pada 7° 54' 41,5" LS - 7° 55' 39,1" LS dan 110° 30' 44,3" BT - 110° 31' 37,1" BT. Topografi daerah penelitian berupa perbukitan kawasan karst, kemiringan lereng berombak sampai terjal. Penelitian dilakukan selama empat bulan, yaitu pada November 2008 sampai dengan Februari 2009.

Pencatatan data hujan menggunakan alat ARR (*automatic rain recorder*) merek Cimmel. Pengukuran dilakukan dengan perhitungan ketukan alat, dan setiap ketukan bernilai 0,2 mm. *Output* data berupa tebal hujan setiap enam menit selama 24 jam penuh, sehingga dapat diketahui lama dan tebal hujan. *Output* data direkam dengan menggunakan *chip* yang memiliki memori 30 hari pengukuran. Pembacaan hasil rekaman dilakukan dengan program Cimsta.

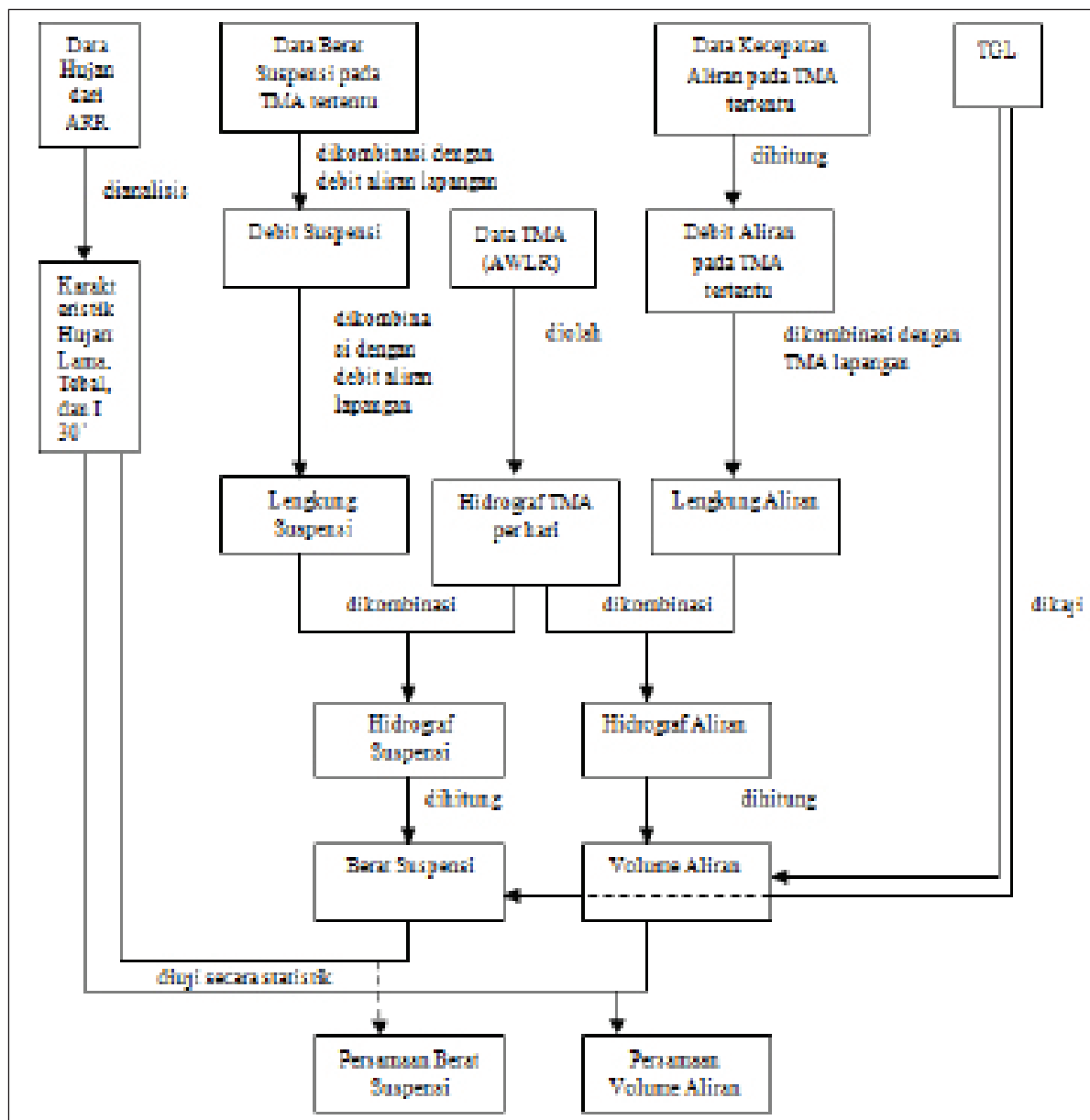
Ketinggian muka air dicatat dengan menggunakan alat AWLR (*automatic water level recorder*) merek HOBOWARE, kemudian dianalisis dengan perangkat lunak HOBOWARE. Analisis pengaruh karakteristik hujan terhadap aliran langsung dan debit aliran digunakan kombinasi data hujan dan data debit. Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan metode apung (*float area method*) menggunakan alat pelampung berupa bola yang setengahnya terisi air dan *stopwatch* untuk menghitung waktu tempuh.¹ Perhitungan konsentrasi suspensi (Cs) diawali dengan menimbang berat kertas saring awal (g1). Sampel air dalam *suspended sampler* diukur volumenya. Kertas saring yang berisi material suspensi dikeringkan dan dioven, kemudian ditimbang sehingga diperoleh berat akhir (g2). Konsentrasi

suspensi pada seksi ke-n (Csn) diperoleh dengan mengurangi berat akhir kertas saring dengan berat awal. Hasil perhitungan dibagi dengan volume air sampel.

Pembuatan hidrograf aliran dilakukan untuk memperoleh volume aliran langsung dan debit aliran tiap kejadian hujan. Pengubahan hidrograf tinggi muka air menjadi hidrograf aliran (*discharge hydrograph*) dibuat dengan pertolongan "Stage Discharge Rating Curve" yang merupakan grafik hubungan tinggi muka air dengan debit aliran. Berikutnya dibuat lengkung suspensi yang berfungsi untuk mengubah data debit aliran menjadi data debit suspensi.

Analisis hubungan dilakukan menggunakan SPSS 17, dengan uji korelasi. Pengaruh karakteristik hujan dengan nilai volume aliran dan debit suspensi menggunakan metode *backward*, sehingga variabel yang tidak signifikan akan dikeluarkan dari model.²

Data tata guna lahan didapatkan dengan Pengamatan dilakukan dengan menggunakan alat GPS, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak MapInfo 7.0 dengan *output* berupa peta tata penggunaan lahan (TGL). Alur penelitian dirancang seperti pada Gambar 1.



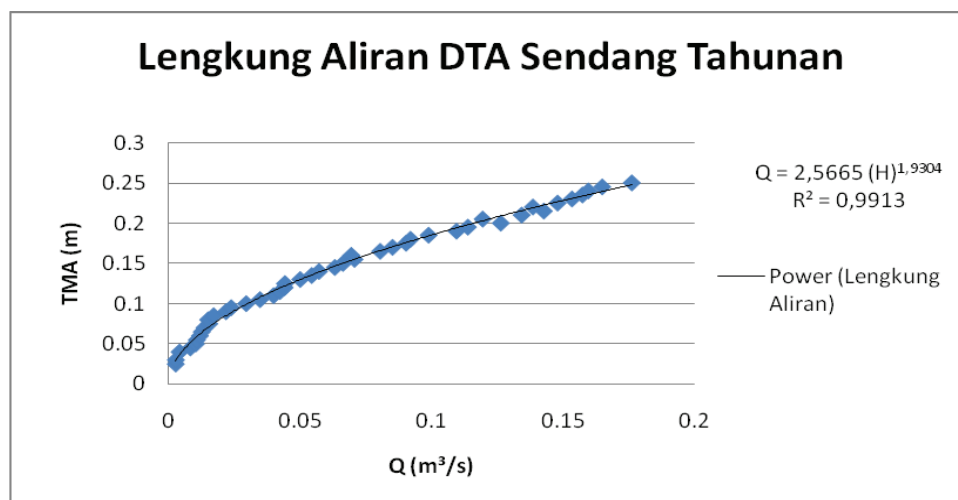
Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

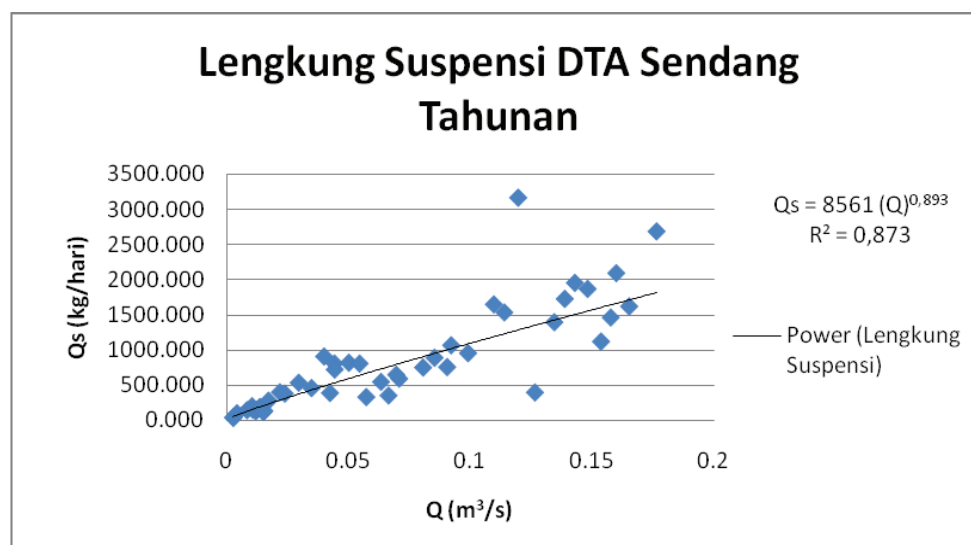
Hasil pengamatan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa hubungan antara tinggi permukaan air di DTA tersebut terhadap debit aliran membentuk fungsi kuadratis. Persamaan yang berlaku pada DTA adalah $Q = 2,5665 (H)^{1,9304}$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9913$ (Gambar 2). Hal tersebut menunjukkan bahwa variasi nilai debit aliran dapat diterangkan oleh faktor tinggi permukaan air sebesar 99,13% dan sisanya sebesar 0,87% diterangkan oleh faktor lain. Persamaan lengkung aliran menunjukkan bahwa lengkung aliran yang terbentuk mendekati linear (lurus). Suyono dalam Windu⁴ menyatakan bahwa hal ini disebabkan oleh penampang yang berbentuk persegi panjang.

Pengamatan terhadap lengkung suspensi menghasilkan fungsi $Q_s = 8561 (Q)^{0,893}$ dengan $R^2 = 0,873$ (Gambar 3). Hal tersebut menunjukkan bahwa variasi nilai debit suspensi dapat diterangkan oleh faktor debit aliran sebesar 87,3% dan sisanya sebesar 12,7% diterangkan oleh faktor lain.

Perhitungan persamaan lengkung aliran dan lengkung suspensi merupakan dasar untuk menghitung nilai volume aliran per hari dan berat suspensi per hari dari DTA tersebut. Dalam pengelolaan daur hidrologi suatu DTA, persamaan lengkung aliran dan lengkung suspensi menjadi faktor yang utama. Hasil perhitungan karakteristik hujan, volume aliran, dan berat suspensi yang diperoleh selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Lengkung Aliran DTA Sendang Tahunan



Gambar 3. Lengkung Suspensi DTA Sendang Tahunan

Tabel 1. Volume Aliran (V) Harian dan Berat Suspensi (W) Harian

Tanggal	Bulan	Tahun	Lama (menit)	Tebal (mm)	I 30' (mm/30 menit)	V per hari (m ³)	W per hari (kg)
7	November	2008	42	13,2	12,6	408,29	70,22
8	November	2008	210	34	11,6	487,46	82,56
10	November	2008	60	25	19	1468,37	214,91
13	November	2008	30	3,4	3,4	430,93	74,15
14	November	2008	60	5,6	6	401,36	69,48
16	November	2008	132	42,8	27,4	3876,1	508,98
17	November	2008	78	56,6	32	15547,61	1717,74
18	November	2008	132	48	27,8	19192,72	2146,14
19	November	2008	216	72	30,4	27520,70	2973,07
21	November	2008	246	117,2	37	24217,64	2474,96
24	November	2008	198	60,4	22	20493,97	2258,73
25	November	2008	66	4,4	1,6	6222,55	809,19
23	Januari	2009	84	18,2	16,4	424,01	72,49
24	Januari	2009	72	12,8	9,4	528,73	89,08
27	Januari	2009	84	16,2	11,2	399,95	69,27
28	Januari	2009	150	51,2	17,6	2419,11	315,31
30	Januari	2009	444	83,4	11,2	2761,40	366,42
2	Februari	2009	204	91,8	31,4	5686,84	719,28
3	Februari	2009	144	41,6	21,2	6165,28	802,86
4	Februari	2009	108	44,4	24,4	6824,20	877,14
6	Februari	2009	30	8,4	8,4	886,66	141,38
9	Februari	2009	30	0,8	0,8	1176,58	183,09
11	Februari	2009	234	66	9	3411,03	426,88
12	Februari	2009	450	87,2	15,4	12988,63	1525,60
17	Februari	2009	138	36,6	11,8	6126,14	764,55

Hujan sebagai sumber utama air di permukaan bumi memiliki karakteristik masing-masing. Data pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa kombinasi ketiga karakteristik hujan (lama, tebal, dan I 30') akan memengaruhi volume aliran yang berlaku. Hasil analisis regresi linear ganda memperlihatkan bahwa I 30' akan memberi dampak nyata terhadap besarnya volume aliran harian dan berat suspensi harian. Persamaan yang dihasilkan adalah $V = 563,646 (I\ 30') - 2644,063$ dan $W = 59,660 (I\ 30') - 209,758$, dengan koefisien determinasi 0,695. Menurut Santoso,² koefisien determinasi dikatakan sangat tinggi jika nilainya di atas 0,7. Hasil studi ini menunjukkan bahwa persamaan yang diperoleh tidak mampu menjelaskan faktor di luar karakteristik hujan yang memengaruhi nilai volume aliran dan berat suspensi. Analisis regresi antara I 30' dan volume aliran menghasilkan

koefisien determinasi sebesar 0,485. Koefisien determinasi ini menunjukkan bahwa sebenarnya faktor I 30' kurang berpengaruh nyata terhadap volume aliran dan berat suspensi.

Faktor karakteristik hujan tidak ada yang berpengaruh nyata terhadap volume aliran dan berat suspensi. Faktor-faktor yang memengaruhi nilai volume aliran dan debit suspensi adalah iklim, topografi, penggunaan lahan, vegetasi dan tipe tanah, dan kondisi geologi. Sunarto⁵ menyatakan bahwa pada daerah karst banyak ditemukan lubang, seperti luweng yang dapat langsung menyerap air dalam jumlah besar. Penelusuran pada area DTA Sendang Tahunan tidak secara spesifik memperlihatkan fenomena ornamen karst. Hal ini diperkirakan daerah karst penelitian termasuk dalam lanskap karst muda dan

lapies banyak tertutup oleh tanaman setelah terjadi reboisasi. Retakan dan mata air banyak ditemukan di DTA ini. Manning⁶ mengilustrasikan bahwa salah satu ciri khas daerah karst adalah adanya lapisan kedap air dan terdapat 3 mata air di DTA Sendang Tahunan, satu di antaranya merupakan mata air tahunan.

Vegetasi yang ada memiliki banyak fungsi dalam mengurangi limpasan permukaan, karena tumbuhan membantu tanah menurunkan kadar airnya terutama melalui evapotranspirasi. Selain itu, pada saat hujan, tajuk mengurangi air hujan yang turun langsung ke tanah melalui intersepsi yang terkadang air terus tetap tersimpan di tajuk hingga akhirnya menguap kembali. Batang dan perakaran tanaman yang muncul di permukaan dapat menahan air yang tidak terserap secara langsung oleh tanah. Dengan demikian, tanah memiliki waktu yang lebih lama untuk melakukan penyerapan. DTA suatu DAS yang memiliki banyak tumbuhan akan semakin kecil nilai limpasan permukaannya. Pengaruh tutupan pohon terhadap aliran air adalah dalam bentuk intersepsi air hujan, daya pukul air hujan, infiltrasi air, serapan air, dan drainase lanskap.³ Tata penggunaan lahan di DTA Sendang Tahunan ditampilkan seperti pada Tabel 2.

Data pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa DTA Sendang Tahunan ada di daerah kering dengan persentase penutupan vegetasi pepohonan yang rendah. Jenis tanah di DTA Sendang Tahunan adalah vertisol dengan kondisi dangkal dengan rata-rata kedalaman tanah 40 cm dan berkisar 0–100 cm. Tanah ini termasuk jenis tanah yang peka terhadap erosi.⁷ Kondisi ini memunculkan dugaan awal bahwa tingkat erosi di DTA ini termasuk tinggi.

Hasil perhitungan nilai erosi menunjukkan bahwa nilai erosi di DTA Sendang Tahunan adalah 0,77 ton/ha/tahun. Kategori ini termasuk klasifikasi sangat rendah. Nilai erosi 0 hingga 14,6 ton/ha/tahun termasuk klasifikasi sangat rendah.⁶ DTA ini juga dapat diklasifikasikan sebagai daerah dengan tingkat erosi sangat ringan, di bawah 15 ton/ha/tahun.⁸ Daerah dengan tanah dangkal, batasan erosi yang diperbolehkan sebesar 1,12 ton/ha/tahun.⁷

Kondisi yang bertolak belakang ini disebabkan oleh kecilnya nilai koefisien *runoff* (C) pada DTA ini, yaitu sebesar 7,269%.⁹ Nilai C yang kecil ini memengaruhi besarnya volume aliran yang ada pada DTA. Koefisien *runoff* menunjukkan besar hujan yang menjadi aliran permukaan atau tidak tertangkap oleh DTA. Dengan demikian, semakin kecil nilai C menunjukkan volume aliran semakin kecil pula. Besarnya nilai C juga berpengaruh terhadap debit suspensi, karena saat air bergerak melalui permukaan tanah menuju tempat yang lebih rendah menimbulkan gesekan terhadap tanah sehingga dapat membawa partikel tanah.

Faktor topografi daerah karst yang berbukit-bukit menyebabkan aliran air menjadi lebih cepat tetapi vegetasi dapat mengurangi kecepatan air yang terjadi. Pada daerah karst air permukaan sering kali sulit ditemukan, karena adanya retakan dalam tanah, *ponor*, ataupun batuan yang bersifat poros (*poreus*) terhadap air. Batuan gamping pada daerah karst biasanya memiliki pori-pori mikro, retakan, lubang-lubang pada lapisan batuan sehingga air lebih cepat lolos melewati batuan ke bawah permukaan, dan air yang mengalir pada permukaan menjadi kecil. Adanya retakan dangkal sampai dalam yang ada pada aliran sungai dimungkinkan menjadi penye-

Tabel 2. Tata Penggunaan Lahan

No.	Jenis Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Sawah tadah hujan	79,9	43,4440
2	Ladang	16,072	8,7388
3	Kebun	12,013	6,5318
4	Hutan	1,75	0,9515
5	Permukiman	74,18	40,3338
	Total	183,915	100

bab banyaknya materi tanah yang terjerembap di dalamnya sehingga tidak sampai pada *outlet* akhir.

Penggunaan lahan terbesar kedua adalah permukiman. Penggunaan lahan tanah berupa permukiman yang besar seharusnya menyebabkan koefisien *runoff* yang terjadi juga besar, tetapi pada DTA ini terjadi sebaliknya. Hal ini diduga karena pada daerah permukiman memiliki jarak yang berjauhan antarrumah dan hampir setiap pekarangan ditanami pohon atau tanaman lain yang cukup banyak. Pola agroforestri telah lama berjalan di Kabupaten Gunung Kidul. Kebun warga banyak ditanami pepohonan keras berupa jati ataupun mahoni sehingga penyerapan air oleh tanah akibat tanaman cukup besar menggantikan daerah hutan. Santosa dan Sinukaban menjelaskan bahwa aliran permukaan dan erosi pada tanaman teh umur 6 tahun dan hutan alam tidak menunjukkan perbedaan yang nyata.¹⁰ Penggunaan lahan untuk pertanian sering kali mendorong peningkatan limpasan dan erosi. Jenis sawah di DTA Sendang Tahunan adalah sawah tadah hujan. Sawah tadah hujan yang ada di DTA ini juga telah melakukan praktik konservasi tanah dengan pembuatan terasering sehingga aliran air menjadi lebih lambat. Praktik konservasi tanah pada setiap kondisi tempat dapat berbeda-beda, tetapi inti dari hal ini adalah meminimalkan laju aliran permukaan dan mengurangi risiko erosi.

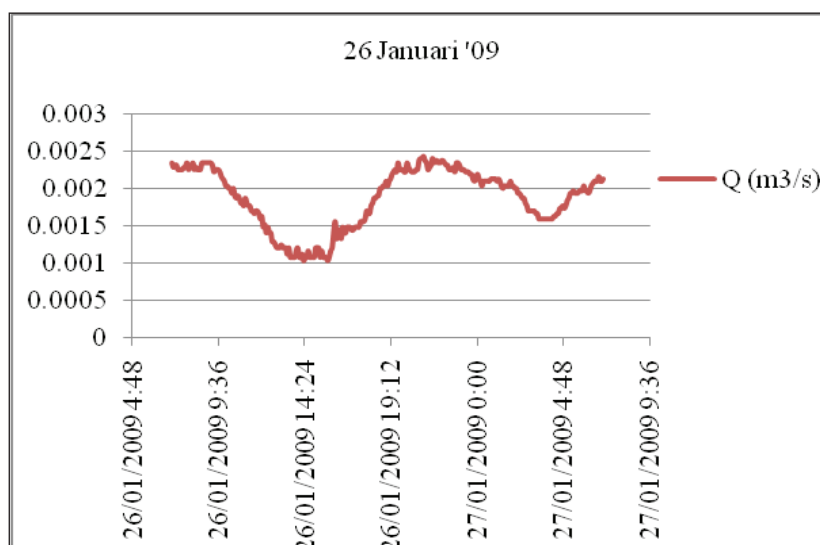
Pada saat intensitas maksimum, hujan yang terjadi paling tebal dalam waktu 30 menit selama satu kejadian hujan tersebut. Pada saat tersebut tanah sulit untuk menyerap air karena infiltrasinya

kecil. Hal ini menyebabkan *runoff* secara cepat yang akan menimbulkan volume aliran permukaan yang meningkat ketika mencapai badan air. Gambar 4 menunjukkan adanya fluktuasi aliran meskipun tidak terjadi hujan.

Kurva pada Gambar 4 menunjukkan terjadinya kenaikan debit meski tanpa kejadian hujan. Hal ini diduga berpengaruh pada nilai volume aliran. Hal ini diduga karena pada lapisan bawah DTA Sendang Tahunan terdapat aliran bawah tanah yang memiliki alur tersendiri, sehingga aliran yang masuk ke tanah dapat keluar lagi setelah mengikuti alurnya. Kejadian ini diduga menyebabkan besarnya keterkaitan antara nilai volume aliran dan intensitas maksimum 30 menit lebih kecil bila dibandingkan dengan besarnya nilai berat suspensi yang dipengaruhi oleh $I 30'$.

KESIMPULAN

Hasil kajian yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa intensitas hujan maksimal 30 menit merupakan karakter hujan yang berpengaruh terhadap volume aliran dan berat suspensi. Persamaan untuk volume aliran, $V = 563,646 (I 30') - 2644,063$. Sementara persamaan untuk berat suspensi, $W = 59,660 (I 30') - 209,758$. Kajian terhadap lokasi penelitian menunjukkan bahwa faktor penggunaan lahan, penutupan vegetasi, tipologi daerah karst, dan praktik konservasi tanah memengaruhi aliran permukaan. Aliran permukaan ini yang akan memberi pengaruh terhadap besar volume aliran dan berat suspensi.



Gambar 4. Hidrograf Aliran Tanpa Kejadian Hujan

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DPP Penerapan IPTEKS yang telah memberi fasilitas SPAS.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Asdak, C., 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- ²Santoso, S. 2007. *Mengolah Data Statistik Secara Profesional*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- ³Noordwijk, M. V. *et al.* 2004. Peranan Agroforestri dalam Mempertahankan Fungsi Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS). *Agrivita*, 26(1): 1–8.
- ⁴Windu, P. 2008. *Hubungan Karakteristik Hujan dengan Debit Aliran Rata-Rata dan Debit Suspensi Rata-Rata di Hutan Pinus Campuran, DTA Gajah Mungkur*. Skripsi. Fakultas Kehutanan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- ⁵Sunarto, 2007. *Bahan Ajar Pengelolaan Lanskap*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- ⁶Manning, J. C. 1987. *Applied Principles of Hydrology*. Ohio: Merrill Publised Company.
- ⁷Kusumandari, A. 2005. *Hand Out Matakuliah Konservasi Tanah dan Air*. Yogyakarta: Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- ⁸Harjadi, B. 2007. Perhitungan Erosi Kuantitatif Metode MMF dengan PJ dan SIG di DAS Benain-Noelmina. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 7(1): 127–132.
- ⁹Pieter, L. A. G. 2009. *Hubungan Karakteristik Hujan dengan Debit Puncak dan Koefisien Runoff (C) di Kawasan Karst Daerah Tangkapan Air Sendang Tahunan, Gunung Kidul*. Skripsi. Fakultas Kehutanan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- ¹⁰Santosa, W. dan N. Sinukaban. 1986. Aliran Permukaan dan Erosi pada Tanah yang Tertutup oleh Tanaman Teh dan Hutan Alam di Gambung, Bandung. *Prosiding Kongres Nasional IV Himpunan Ilmu Tanah Indonesia Tahun 1986*: 170–180. Bogor, 10–13 Desember 1985: Himpunan Ilmu Tanah Indonesia.